

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) **公開特許公報 (A)**

(11)特許出願公開番号

特開平11-186274

(43)公開日 平成11年(1999)7月9日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

FI

H O 1 L 21/3205  
21/768

H O 1 L 21/88  
21/90

**B**  
**C**

審査請求 有 請求項の数14 O L (全 6 頁)

(21)出願番号 特願平10-135315

(22)出願日 平成10年(1998)5月18日

(31)優先権主張番号 8 6 1 1 9 3 0 7

(32)優先日 1997年12月19日

(33)優先權主張国 台湾 (TW)

(71)出願人 398029348

聯華電子股▲ふん▼有限公司

台灣新竹科學工業園區新竹市力行二路3號

(74) 上記1名の代理人 弁理士 社本 一夫 (外5名)

(71)出願人 598014526

聯華電子股▲分▼有限公司

台灣新竹科學工業園區新竹市力行二路三號

(72) 發明者 葉 文冠

台灣新竹縣竹北市華興一街43巷12號

(72) 究明者 林 建廷

台灣高雄縣田寮鄉新興村126號

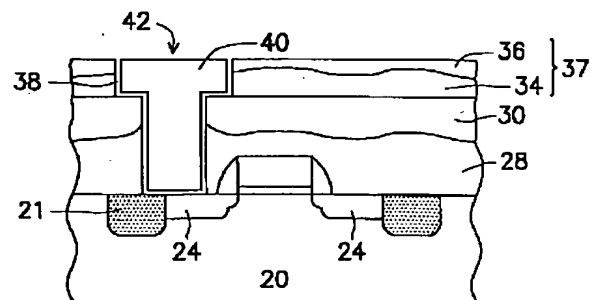
[最終頁に続く](#)

(54) 【発明の名称】 デュアル・ダマスク技術

(57) 【要約】

【課題】 エッチング損傷を防止し、限界寸法の変動を小さくするデュアル・ダマスク技術を提供する。

【解決手段】 本発明のデュアル・ダマスク技術においては、デュアル・ダマスクの幅の狭い開口及び幅の広い開口のそれぞれの所定領域に、第１及び第２のフォトリジスト層を予め形成する。HSQ層３４及びその頂部に設けられる酸化物層３６から成る複合層３７が、第１及び第２のフォトリジスト層の周囲にそれぞれ形成される。フォトリジスト層を除去した後に、残った開口４２に接着剤／バリア層及び金属層４０を充填する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】デュアル・ダマスク技術であって、配線に接触されるのが望ましい領域が既に形成されている基板を準備する工程と、

第 1 のパターンを有する第 1 のフォトレジスト層を形成し、該第 1 のフォトレジスト層を前記領域に十分に接触させる工程と、

均一な表面を有する第 1 の絶縁層を形成し、該第 1 の絶縁層の高さを前記第 1 のフォトレジスト層の高さとほぼ同じにする工程と、

前記第 1 のパターンの断面積よりも十分に幅の広い断面積を有する第 2 のパターンを有する第 2 のフォトレジスト層を形成し、該第 2 のフォトレジスト層を前記第 1 のフォトレジスト層と十分に接触させる工程と、

均一な表面を有する第 2 の絶縁層を形成し、該第 2 の絶縁層を前記第 2 のフォトレジスト層の高さとほぼ同じにする工程と、

前記第 1 のフォトレジスト層及び前記第 2 のフォトレジスト層を除去して開口を形成する工程と、

前記開口に金属を充填する工程とを備えることを特徴とするデュアル・ダマスク技術。

【請求項 2】請求項 1 に記載のデュアル・ダマスク技術において、前記第 1 のフォトレジスト層を形成する工程の後に、深層紫外線（UV）焼成を行う工程を更に実行することを特徴とするデュアル・ダマスク技術。

【請求項 3】請求項 1 に記載のデュアル・ダマスク技術において、前記第 2 のフォトレジスト層を形成する工程の後に、深層 UV 焼成を行う工程を更に実行することを特徴とするデュアル・ダマスク技術。

【請求項 4】請求項 1 に記載のデュアル・ダマスク技術において、前記第 1 の絶縁層を、ハイドロジェン・シルセスキオキサープ（hydrogen silsesquioxane: HSQ）層と、該 HSQ 層の上に形成される酸化ケイ素層とから構成することを特徴とするデュアル・ダマスク技術。

【請求項 5】請求項 1 に記載のデュアル・ダマスク技術において、前記第 2 の絶縁層を、HSQ 層と、該 HSQ 層の上に形成された酸化ケイ素層とから構成することを特徴とするデュアル・ダマスク技術。

【請求項 6】請求項 1 に記載のデュアル・ダマスク技術において、前記金属を充填する工程の前に、接着剤／バリア層を形成して前記開口の周部及び底部を覆うことを特徴とするデュアル・ダマスク技術。

【請求項 7】請求項 1 に記載のデュアル・ダマスク技術において、前記配線と接触されるのが望ましい前記領域を、ソース／ドレイン領域の一方とすることを特徴とするデュアル・ダマスク技術。

【請求項 8】請求項 4 に記載のデュアル・ダマスク技術において、前記 HSQ 層を、スピナーコーティングによって形成することを特徴とするデュアル・ダマスク技

術。

【請求項 9】請求項 5 に記載のデュアル・ダマスク技術において、前記 HSQ 層を、スピナーコーティングによって形成することを特徴とするデュアル・ダマスク技術。

【請求項 10】請求項 4 に記載のデュアル・ダマスク技術において、前記酸化ケイ素層を、化学蒸着法（CVD）及び化学機械的な研磨（CMP）によって形成することを特徴とするデュアル・ダマスク技術。

10 【請求項 11】請求項 5 に記載のデュアル・ダマスク技術において、前記酸化ケイ素層を、CVD 及び CMP によって形成することを特徴とするデュアル・ダマスク技術。

【請求項 12】請求項 6 に記載のデュアル・ダマスク技術において、前記接着剤／バリア層を Ti/TiN 層とすることを特徴とするデュアル・ダマスク技術。

【請求項 13】請求項 1 に記載のデュアル・ダマスク技術において、前記金属を銅から構成することを特徴とするデュアル・ダマスク技術。

20 【請求項 14】請求項 1 に記載のデュアル・ダマスク技術において、前記金属をタングステンから構成することを特徴とするデュアル・ダマスク技術。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一般的に、デュアル・ダマスク（dual damascene）技術に関し、より詳細に言えば、紫外線を用いてフォトレジスト層を焼成するデュアル・ダマスク技術に関する。デュアル・ダマスク技術は、サブミクロン以下の集積回路（IC）プロセスに成功裏に応用することができる。

## 【0002】

【従来の技術】集積回路（IC）の集積度が高くなると、相互接続部を形成するためのチップ表面が不十分になる。デバイスのサイズが小さくなるに連れてより多くの配線が必要とされるという要件を満足するために、多層相互接続部の構造が、IC 製作に必要とされる。多層相互接続部は、三次元的な配線構造である。多層相互接続構造を形成するために、第 1 の金属配線層すなわち下方の金属配線層を最初に形成し、基板上の金属酸化膜半導体トランジスタ（MOS）のソース／ドレイン領域に接続し、その後、第 2 の金属配線層を形成し、上記第 1 の金属配線層の金属配線に接続する。金属配線は、金属、あるいは、ポリシリコンの如き任意の導電材料から形成することができる。必要であれば、3 以上の金属配線層を形成することができる。

【0003】しかしながら、サブミクロン以下のサイズの IC デバイスに関しては、通常のデュアル・ダマスク技術は満足すべきものではない。例えば、プラグとして充填する通常材料である銅は、エッチバックのプロセスの間にエッチング除去することが困難であり、また、

適宜なエッチング液を選択することも難しい。また、各金属配線の間のプラグすなわち誘電体堆積物へのメタルデポジションを行うプロセスの間のステップカバー率が低い場合には、不純物のボイド及びトラッピングが形成される。従って、ICデバイスの小型化に起因する欠点を解消すると共に均一な誘電体表面を生成する、通常のデュアル・ダマスク技術が提案された。

【0004】一般的に使用される大部分のデュアル・ダマスク技術は、パターンニング作業の間に化学機械的な研磨(CMP)を用いている。この化学機械的な研磨は、例えば、アルミニウム、銅及びアルミニウム合金のように配線用金属の選択肢を広げ、従って、電気抵抗が低く電気移動が少ないという要件を満足する。その結果、化学機械的な研磨は、 $0.25\mu\text{m}$ 未満のVLSI(超大規模集積回路)のプロセスに一般的に使用されている。

【0005】図1乃至図4を参照すると、通常のデュアル・ダマスク技術が工程系統図によって示されている。最初に図1を参照すると、酸化物層である金属間誘電体層12が、基板10の上に設けられている。次に、上記金属間誘電体層12をパターンニングして、基板10に幅の広い開口14を形成する。

【0006】図2を参照すると、上記幅の広い開口14の底部を更にパターンニングし且つエッチングして幅の狭い開口16を形成し、基板10を露出させる。

【0007】図3を参照すると、金属18が、上記開口16及び開口14の中に充填されている。

【0008】図4を参照すると、エッチバック技術又はCMP技術を実行して金属18を研磨して、金属間誘電体層12の表面を露出させ、これにより、金属18の表面を金属間誘電体層12の高さと同じ高さにする。

【0009】しかしながら、通常のデュアル・ダマスク技術は、少なくとも以下の(1)及び(2)の問題点を有している。

【0010】(1) 開口14及び開口16は共に、ドライエッチングによってエッチングされるので、深刻なプラズマ損傷が生ずる。

【0011】(2) 上記幅の狭い開口を形成するパターンニング工程の間に、上記幅の広い開口を形成する従来技術のドライエッチング工程によって不均一なトポグラフィすなわち微細構成が生ずるので、限界寸法の変動が大きい。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】従って、本発明の目的は、通常のデュアル・ダマスク技術の欠点を解消するデュアル・ダマスク技術を提供することである。

【0013】本発明の別の目的は、金属相互接続部の製作に有益なデュアル・ダマスク技術を提供することである。

【0014】本発明の更に別の目的は、サブミクロン以下のプロセスに適合するデュアル・ダマスク技術を提供

することである。

【0015】本発明の更に別の目的は、ミスマラインメントの問題を低減すると共に、エッチングプロセスに起因する問題を生ずることのない、デュアル・ダマスク技術を提供することである。

【0016】

【課題を解決するための手段】多層相互接続部のランドを持たない金属バイア(via)を製作する方法が開示される。

10 【0017】デュアル・ダマスクの幅の狭い開口及び幅の広い開口のそれぞれの所定領域に、フォトレジスト層(すなわち、第1のフォトレジスト層及び第2のフォトレジスト層)が予め形成される。HSQ層及びその上の酸化物層から成る2つの複合層が、上記第1及び第2のフォトレジスト層の周囲に形成される。これらフォトレジスト層を除去した後に、残った開口に接着剤/バリヤ層及び金属を充填する。

20 【0018】本発明の他の目的、特徴及び利点は、非限定的な好ましい実施例を図面を参照して説明する以下の記載から明らかとなろう。

【0019】

【発明の実施の形態】図5を参照すると、半導体基板20の上に半導体デバイスが最初に形成される。この半導体デバイスは、浅いトレンチの絶縁構造の如きフィールド構造21によって絶縁された活性領域に形成された、金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ(MOSFET)22とすることができる。このMOSFET22は、ソース/ドレイン領域24を含んでいる。

30 【0020】図6を参照すると、所望の幅の狭い開口のパターンを有するフォトレジスト層26が、上記ソース/ドレイン領域24に十分に接触する状態で形成されている。深層UV(紫外線)焼成プロセスを実行するのが好ましい。次に、ハイドロジェン・シルセスキオキサブ(hydrogen silsesquioxane: HSQ)の層28を少なくともMOSFET22の上にスピンコーティングする。

40 【0021】次に図7を参照すると、少なくともHSQ層28及びフォトレジスト層26の上に酸化ケイ素層30を形成する。この酸化ケイ素層は、化学蒸着法(CVD)によって形成されるのが好ましい。次に、上記酸化ケイ素層30をCMPによって研磨して、少なくともフォトレジスト層26の上面が露出されるまで、酸化ケイ素層30の一部を除去する。これにより、酸化ケイ素層30の上面は、フォトレジスト層26の上面の高さとほぼ同じ高さになる。従って、酸化ケイ素層30及びHSQ層28から成る複合層31が形成される。連続プロセスに耐えるように構成された上記複合層31は、例えば、RC時間遅延が短く、耐水性があり、高密度であるというような、優れた特性を有している。複合層31の上記優れた特性は、HSQ層28が約2.6の低い誘電

率を有して、上記RC時間遅延の問題をかなり解消するという事実から部分的に生ずるものである。また、上方に形成されている酸化ケイ素層30は、複合層31の密度及び耐水性を高め、これにより、HSQ層28の粗密で水を吸着するという問題を解消する。

【0022】次に図8を参照すると、所望の幅の広い開口のパターンを有するフォトリソ層32が、上記フォトリソ層26に十分に接触する状態で形成される。ここでも、深層UV焼成プロセスを実行するのが好ましい。次に、ハイドロジェン・シルセスキオキサップ(HSQ)層34を少なくとも酸化ケイ素層30の上にスピナーコーティングする。

【0023】次に図9を参照すると、少なくともHSQ層34及びフォトリソ層32の上に酸化ケイ素層36を形成する。この酸化ケイ素層は、CVDによって形成するのが好ましい。次に、酸化ケイ素層36をCMPによって研磨して、少なくともフォトリソ層32の上面が露出されるまで、酸化ケイ素層36の一部を除去する。これにより、酸化ケイ素層36の上面は、フォトリソ層32の上面の高さとほぼ同じ高さになる。従って、酸化ケイ素層36及びHSQ層34から成る複合層37が形成される。連続プロセスに耐えるように構成された複合層37は、上記複合層31と同様に、例えば、RC時間遅延が短く、耐水性があり、高密度であるというような優れた特性を有している。

【0024】図10を参照すると、フォトリソ層32及びフォトリソ層26を、好ましくはアッシング(ashing)すなわち灰化作業によって順次除去して、デュアル・ダマスク開口42を形成する。また、CVDによってバリア/接着剤層38を形成して、上記開口42の少なくとも周部及び底部を覆うようにする。バリア/接着剤層38の組成は、例えば、Ti/TiNとすることができる。次に、金属層40を設けてバリア/接着剤層38を覆い、開口42を充填する。金属層40の材料は、銅又はタングステンを含むのが好ましい。金属層40をエッチバックし、これにより、金属層40の上面が酸化ケイ素層36の高さとほぼ同じ高さになるようにする。

【0025】従って、本発明は、2つの層のメタライゼーションすなわち金属化に限定されるものではなく、多層相互接続部に応用できることは明らかである。例えば、上述のプロセスと同様なプロセスによって、3つの層のメタライゼーションプロセスを行うことができる。

【0026】総括すると、本発明のデュアル・ダマスク技術は、以下の(1)乃至(4)の利点を有している。

【0027】(1) 幅の狭い開口及び幅の広い開口の所望の領域にフォトリソ層を予め形成して、通常のデュアル・ダマスク技術によって生ずるエッチング損傷を防止することができる。

【0028】(2) フォトリソ層が形成される表面を均一にすることにより、限界寸法の変動を小さくすることができる。従って、本発明は、深層型のサブミクロンプロセスに適している。

【0029】(3) 本発明のデュアル・ダマスク技術は、多層相互接続部に応用することができる。

【0030】(4) 接触窓又はバイアの幅をミスマインメントに関係無く高い信頼性をもって一定に維持することができる。

【0031】本発明を好ましい実施例に関して例示的に説明したが、本発明はそのような実施例に限定されるものではないことを理解する必要がある。そうではなく、本発明は、種々の変更例並びに同様な構成及び手順を含むものであり、従って、請求の範囲の記載は、そのような総ての変更例並びに同様な構成及び手順を包含するように最も広く解釈されなければならない。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】デュアル・ダマスク技術の通常のプロセスの一工程を示す断面図である。

【図2】デュアル・ダマスク技術の通常のプロセスの一工程を示す断面図である。

【図3】デュアル・ダマスク技術の通常のプロセスの一工程を示す断面図である。

【図4】デュアル・ダマスク技術の通常のプロセスの一工程を示す断面図である。

【図5】本発明の好ましい実施例によるデュアル・ダマスク技術のプロセスの一工程を示す断面図である。

【図6】本発明の好ましい実施例によるデュアル・ダマスク技術のプロセスの一工程を示す断面図である。

【図7】本発明の好ましい実施例によるデュアル・ダマスク技術のプロセスの一工程を示す断面図である。

【図8】本発明の好ましい実施例によるデュアル・ダマスク技術のプロセスの一工程を示す断面図である。

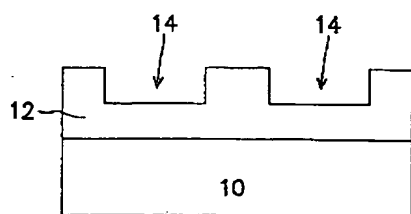
【図9】本発明の好ましい実施例によるデュアル・ダマスク技術のプロセスの一工程を示す断面図である。

【図10】本発明の好ましい実施例によるデュアル・ダマスク技術のプロセスの一工程を示す断面図である。

#### 【符号の説明】

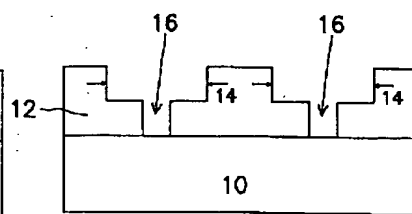
- 20 半導体基板
- 22 MOSFET
- 24 ソース/ドレイン領域
- 26、32 フォトリソ層
- 28、34 HSQ層
- 30、36 酸化ケイ素層
- 31、37 複合層
- 38 接着剤/バリア層
- 40 金属層
- 42 開口

【図1】



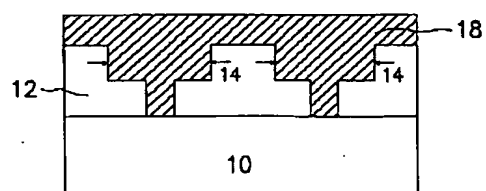
先行技術

【図2】



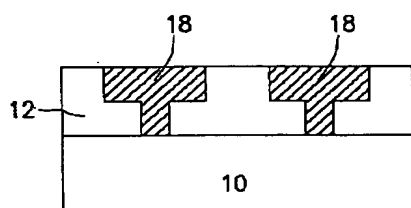
先行技術

【図3】



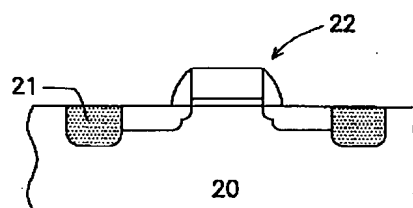
先行技術

【図4】

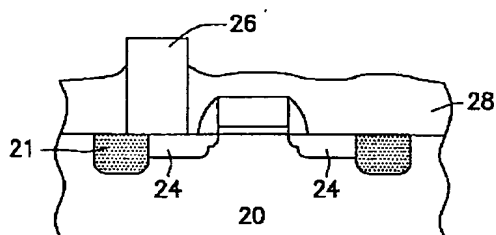


先行技術

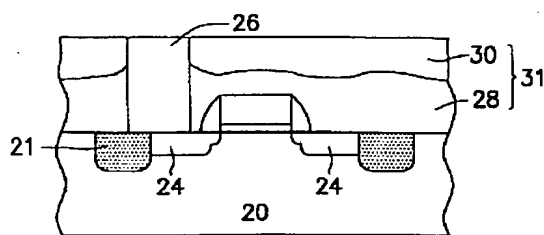
【図5】



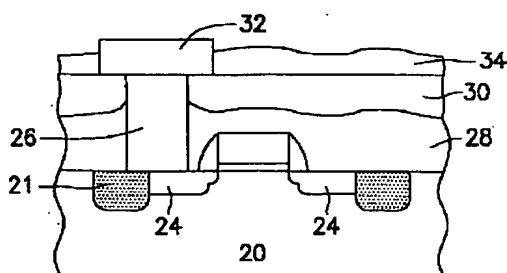
【図6】



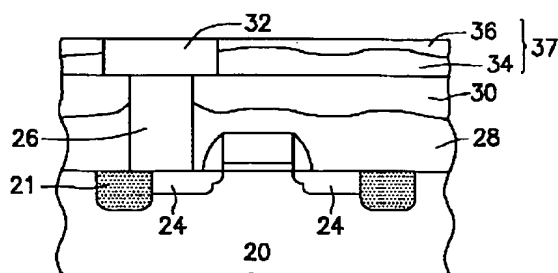
【図7】



【図8】



【図9】

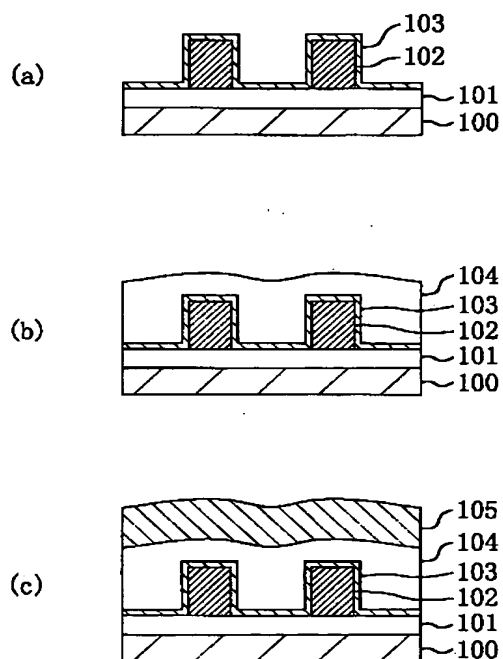


(72)發明者 陳 進來  
台灣桃園縣楊梅鎮光裕南街215號

(72)發明者 黃 恆盛  
台灣台北市哈密街23巷19號

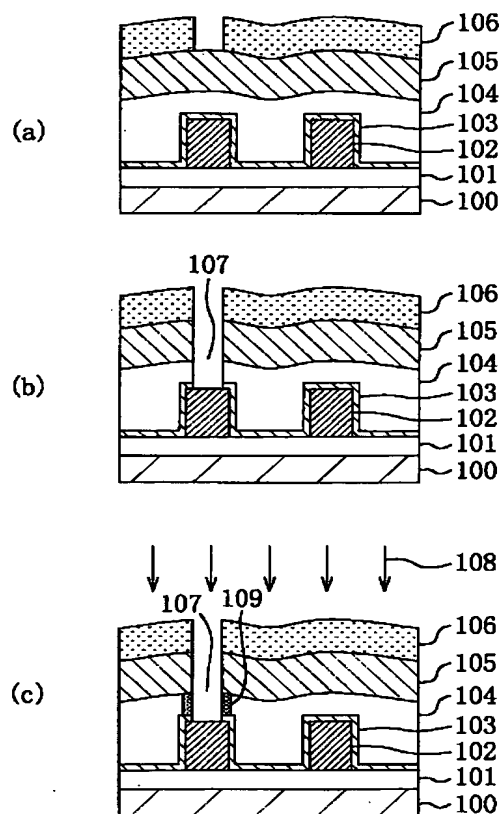
405 コンタクトホール  
 406 水蒸気プラズマ  
 407 第2の改質層  
 408 第2のレジストパターン  
 409 配線溝  
 410 水蒸気プラズマ  
 411 第3の改質層  
 412 バリア層  
 413 銅膜  
 500 シリコン基板  
 501 HSQ膜  
 502 酸化珪素膜

【図1】

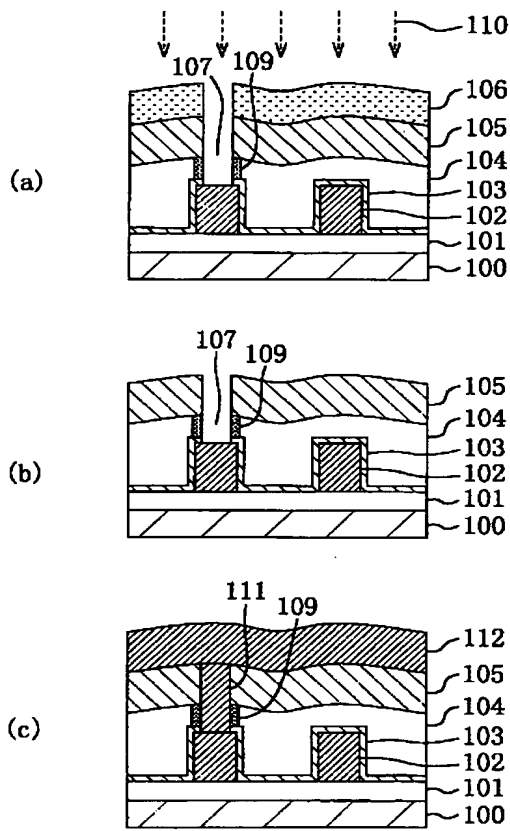


503 第1のレジストパターン  
 504 コンタクトホール  
 505 水蒸気プラズマ  
 506 第1の改質層  
 507 第2のレジストパターン  
 508 配線溝  
 509 水蒸気プラズマ  
 510 第2の改質層  
 511 アンモニアプラズマ  
 512 窒化した改質層  
 513 銅膜

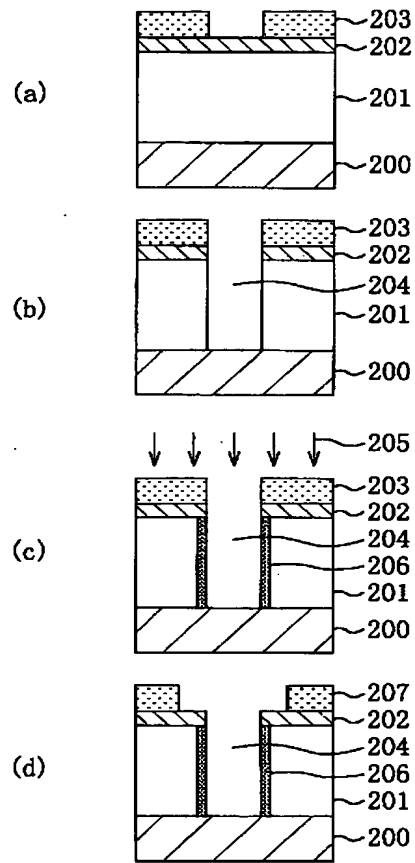
【図2】



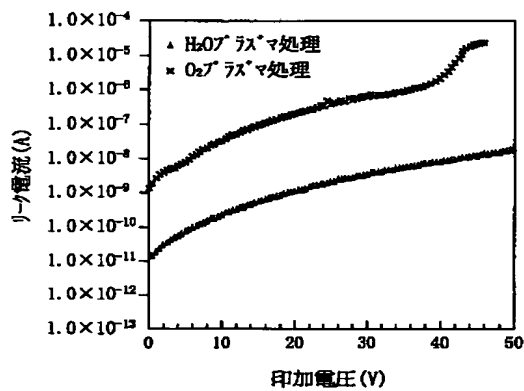
【図 3】



【図 4】

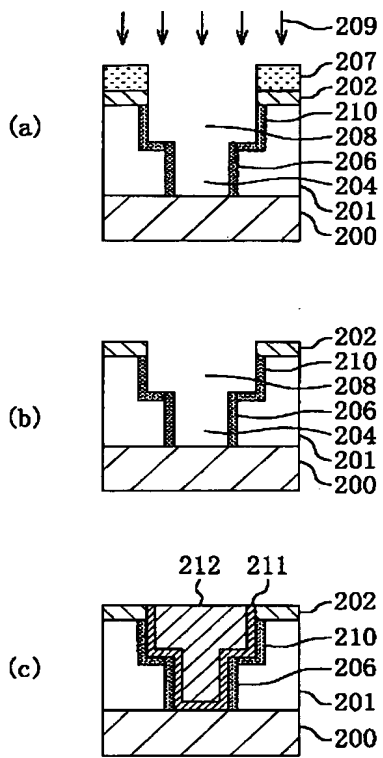


【図 13】

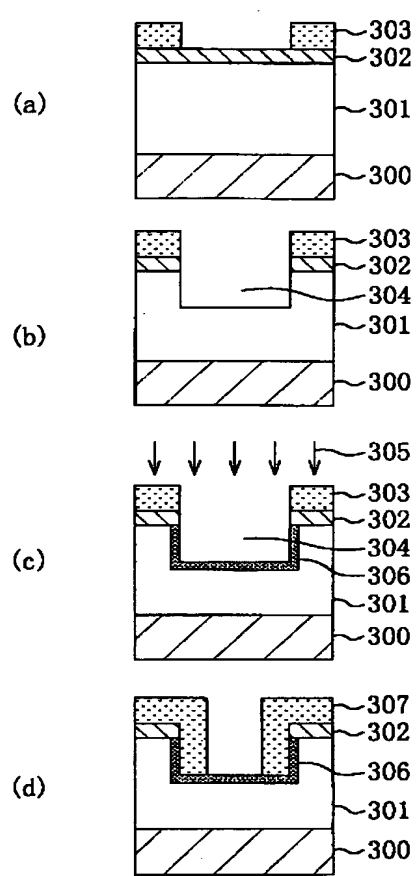




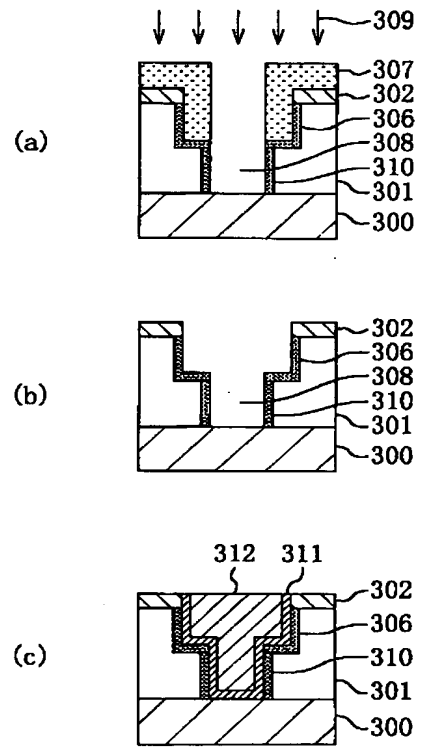
【図5】



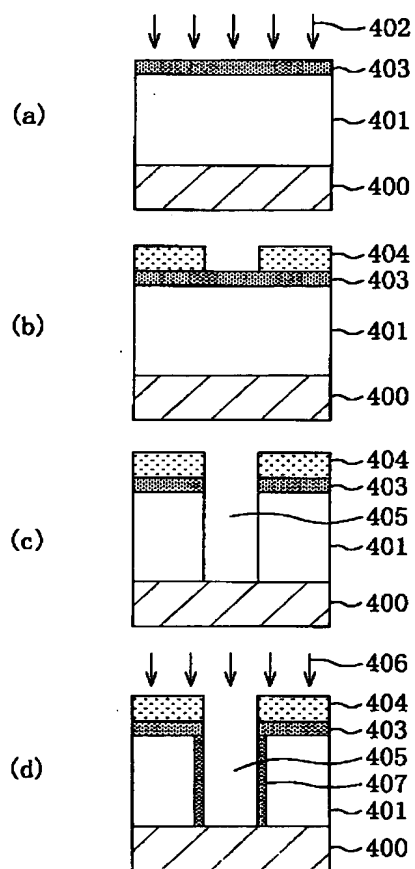
【図6】



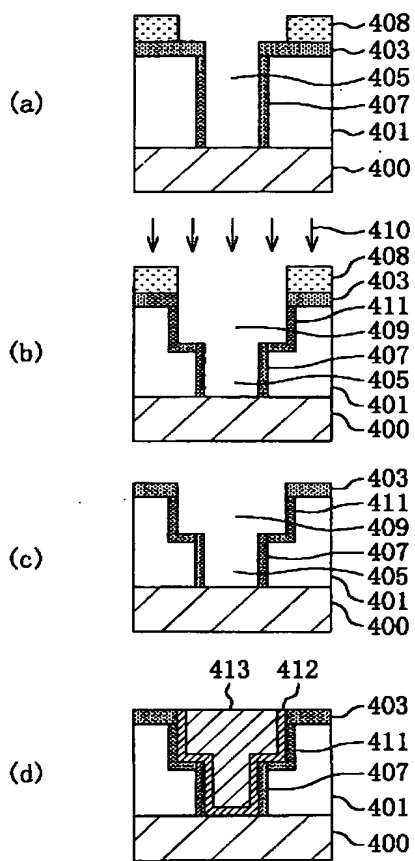
【図7】



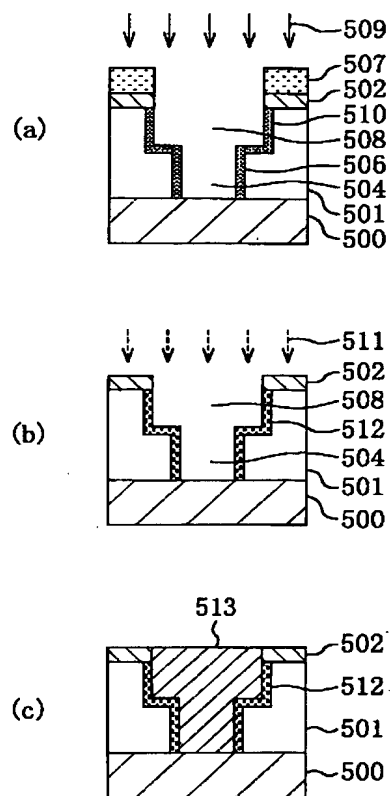
【図 8】



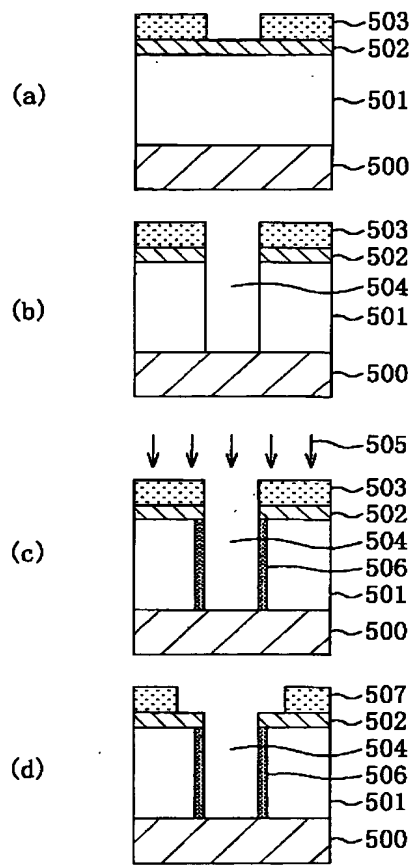
【図 9】



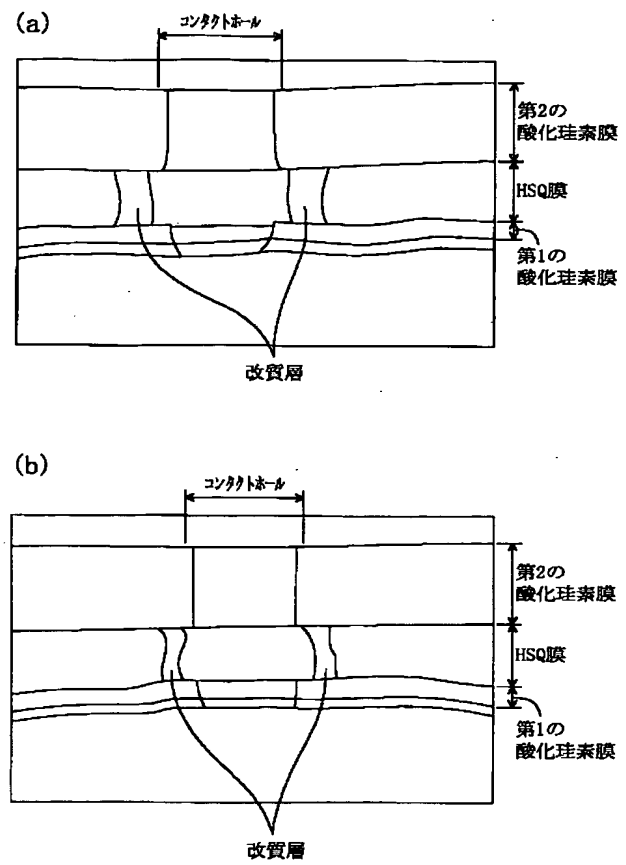
【図 11】



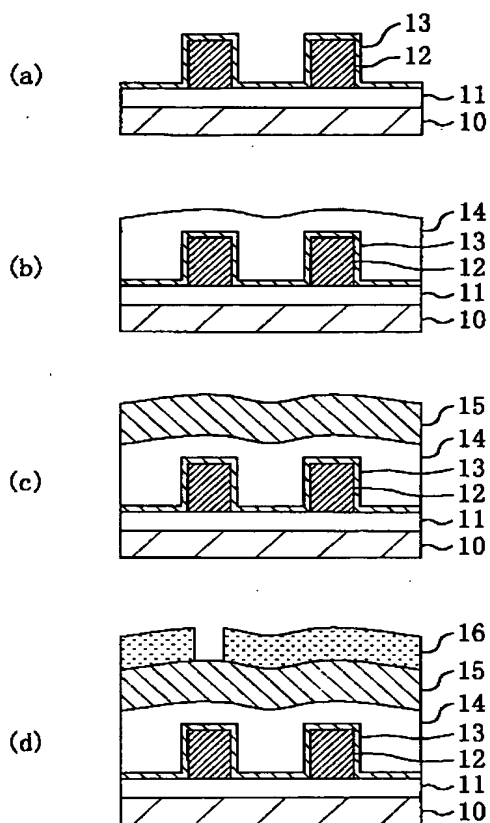
【図10】



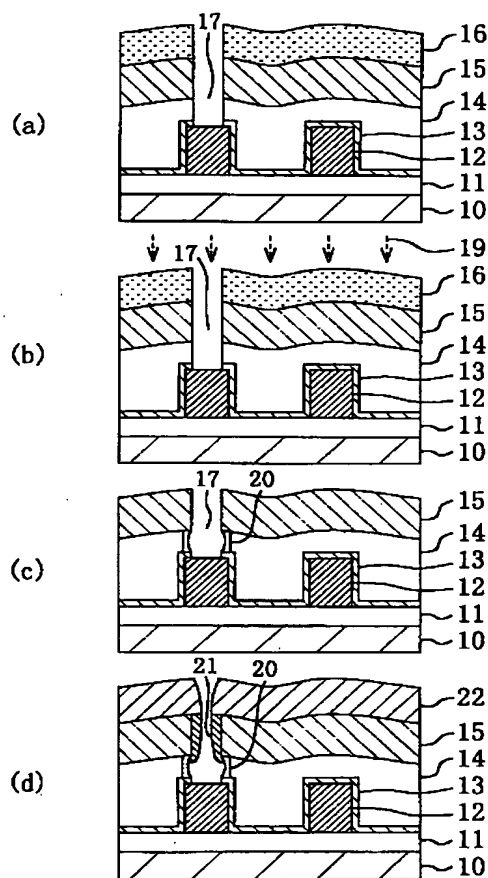
【図12】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

(72)発明者 青井 信雄

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

Fターム(参考) 4M104 BB02 BB03 BB04 BB14 BB18  
BB30 DD08 DD16 DD19 DD22  
EE09 EE12 EE15 FF17 FF22  
FF27 GG13 HH09 HH20  
5F033 HH11 HH18 HH33 JJ01 JJ11  
JJ18 JJ19 JJ33 KK01 KK08  
KK09 MM02 MM08 MM12 NN01  
NN06 NN07 QQ09 QQ10 QQ11  
QQ12 QQ26 QQ28 QQ37 QQ48  
QQ74 QQ76 QQ78 QQ89 QQ90  
QQ92 RR04 RR09 SS15 SS22  
TT04 TT07 XX00 XX14 XX25  
5F058 AA04 AA10 AD02 AD05 AD10  
AF04 AG07 AH02 AH05

態の水素を含む還元性雰囲気になるため、絶縁膜に含まれるシリコン-水素結合の酸化をより抑制できるので、改質層の厚さをより小さくすることができる。本発明に係る絶縁膜の形成方法において、プラズマが励起状態の窒素分子を含んでいると、改質層を窒化することができるので、より緻密化された改質層を得ることができる。この場合、プラズマを、水蒸気、水素ガスと酸素ガスとの混合ガス及び水素ガスと水蒸気との混合ガスのうちの少なくとも1つと、窒素ガス、一酸化二窒素ガス、一酸化窒素ガス、二酸化窒素ガス及びアンモニアガスのうちの少なくとも1つを含む雰囲気中において発生させると、改質層を確実に窒化することができる。本発明に係る絶縁膜の形成方法において、改質処理工程が、プラズマにより緻密化された露出部に対して窒素プラズマにより窒化処理を行なう工程を含むと、改質層を窒化することができるので、より緻密化された改質層を得ることができる。この場合、窒素プラズマは、窒素ガス、一酸化二窒素ガス、一酸化窒素ガス、二酸化窒素ガス及びアンモニアガスのうちの少なくとも1つを含む雰囲気中において発生させると、改質層を確実に窒化することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】(a)～(c)は本発明の第1の実施形態に係る絶縁膜の形成方法の各工程を示す断面図である。

【図2】(a)～(c)は本発明の第1の実施形態に係る絶縁膜の形成方法の各工程を示す断面図である。

【図3】(a)～(c)は本発明の第1の実施形態に係る絶縁膜の形成方法の各工程を示す断面図である。

【図4】(a)～(d)は本発明の第2の実施形態に係る絶縁膜の形成方法の各工程を示す断面図である。

【図5】(a)～(c)は本発明の第2の実施形態に係る絶縁膜の形成方法の各工程を示す断面図である。

【図6】(a)～(d)は本発明の第3の実施形態に係る絶縁膜の形成方法の各工程を示す断面図である。

【図7】(a)～(c)は本発明の第3の実施形態に係る絶縁膜の形成方法の各工程を示す断面図である。

【図8】(a)～(d)は本発明の第4の実施形態に係る絶縁膜の形成方法の各工程を示す断面図である。

【図9】(a)～(d)は本発明の第4の実施形態に係る絶縁膜の形成方法の各工程を示す断面図である。

【図10】(a)～(d)は本発明の第5の実施形態に係る絶縁膜の形成方法の各工程を示す断面図である。

【図11】(a)～(c)は本発明の第5の実施形態に係る絶縁膜の形成方法の各工程を示す断面図である。

【図12】(a)は従来の絶縁膜の方法により形成した改質層を示す顕微鏡写真の模写図であり、(b)は本発明の第1の実施形態の方法により形成した改質層を示す顕微鏡写真の模写図である。

【図13】従来及び本発明の第1の実施形態の方法により得られた改質層における、配線間リーク電流の測定結

果を示す図である。

【図14】(a)～(d)は従来の絶縁膜の形成方法の各工程及びその問題点を説明する断面図である。

【図15】(a)～(d)は従来の絶縁膜の形成方法の各工程及びその問題点を説明する断面図である。

#### 【符号の説明】

100	シリコン基板
101	絶縁膜
102	第1の金属配線層
103	第1の酸化珪素膜
104	HSQ膜
105	第2の酸化珪素膜
106	レジストパターン
107	コンタクトホール
108	水蒸気プラズマ
109	改質層
110	酸素プラズマ
111	プラグ
112	第2の金属配線層
200	シリコン基板
201	HSQ膜
202	第1の酸化珪素膜
203	第1のレジストパターン
204	コンタクトホール
205	水蒸気プラズマ
206	第1の改質層
207	第2のレジストパターン
208	配線溝
209	水蒸気プラズマ
210	第2の改質層
211	バリア層
212	銅膜
300	シリコン基板
301	HSQ膜
302	第1の酸化珪素膜
303	第1のレジストパターン
304	配線溝
305	水蒸気プラズマ
306	第1の改質層
307	第2のレジストパターン
308	コンタクトホール
309	水蒸気プラズマ
310	第2の改質層
311	バリア層
312	銅膜
400	シリコン基板
401	HSQ膜
402	水蒸気プラズマ
403	第1の改質層
404	第1のレジストパターン

る第1のレジストパターン503を形成する。次に、図10(b)に示すように、第1のレジストパターン503をマスクとしてドライエッチングを行なって、HSQ膜501及び酸化珪素膜502にコンタクトホール504を形成する。次に、図10(c)に示すように、水蒸気プラズマ505を用いて改質処理を行なって、HSQ膜501におけるコンタクトホール504に露出している部分に第1の改質層506を形成する。尚、水蒸気プラズマ505の発生方法は第1の実施形態と同様である。次に、図10(d)に示すように、酸化珪素膜502の上に、配線溝形成領域に開口部を有する第2のレジストパターン507を形成する。この場合、コンタクトホール504の側壁部はレジスト膜に対する現像液に曝されるが、コンタクトホール504の側壁部は第1の改質層506に覆われているので、HSQ膜501の膜質が劣化することはない。次に、図11(a)に示すように、第2のレジストパターン507をマスクとしてドライエッチングを行なって、HSQ膜501に配線溝508を形成した後、水蒸気プラズマ509を用いて改質処理を行なって、配線溝508の側壁に第2の改質層510を形成する。次に、図11(b)に示すように、酸素プラズマを用いて、第2のレジストパターン507に対してアッシングを行なって、第2のレジストパターン507を除去する。このアッシング工程において、HSQ膜501におけるコンタクトホール504及び配線溝508に露出している部分は酸素プラズマに曝されるが、第1の改質層506及び第2の改質層510が形成されているので、HSQ膜501には酸素プラズマによる膜質の劣化は起こらない。次に、図11(c)に示すように、反応性プラズマエッチング装置のチャンパー内においてアンモニアを用いて発生させたアンモニアプラズマ511によって、第1の改質層506及び第2の改質層510を窒化処理して、窒化した改質層512を形成する。次に、図11(c)に示すように、コンタクトホール504及び配線溝508が埋め込まれるように銅膜513を堆積し、その後、銅膜513におけるコンタクトホール504及び配線溝508に露出している部分を例えばCMP法により除去すると、銅膜513からなるデュアルダマシン構造を有する埋め込み配線が得られる。ところで、第1～第4の実施形態においては、銅膜が絶縁膜中に拡散して絶縁膜の絶縁性が低下するのを防止するべく、銅膜と絶縁膜との間にバリア層を形成したが、埋め込み配線においては、アスペクト比が高いコンタクトホールにバリア層を被覆性良く形成することは困難な場合が多い。ところが、第5の実施形態のように、第1の改質層506及び第2の改質層510に対して窒化処理を行なって窒化した改質層512を形成するため、窒化した改質層512は銅膜513がHSQ膜501に拡散する事態を防止する。この場合、HSQ膜501の表面は直接に窒化し難いため、HSQ膜501の膜質が劣

化しない程度に薄く酸化しておいてから窒化する方法が有効である。第5の実施形態においては、窒化した改質層512を形成する方法として、HSQ膜501を水蒸気プラズマにより改質した後、アンモニアプラズマ処理により窒化した。これに代えて、水蒸気及びアンモニアガスが同時に導入されているチャンパー内にプラズマを発生させることによって、HSQ膜501の表面に、窒化した改質層512を形成してもよい。尚、第1～第5の実施形態においては、2層の配線構造であったが、これに代えて、1層の配線構造又は3層以上の配線構造であってもよいのは当然である。また、第1～第5の実施形態においては、HSQ膜に対して水蒸気プラズマによる改質処理を行なったが、水蒸気プラズマによる改質処理方法は、膜中にSi-H結合を含む膜、例えば膜中にSi-H結合を含むような有機膜、Si-H結合を含み且つメチル基等の有機成分も含む有機無機混合膜等に対しても有効である。また、プラズマを発生させるためのガス種は、水蒸気に限られるものではなく、水酸基の中性活性種を発生できるガス種であればよい。例えば、水素ガスと酸素ガスとの混合ガス、水素ガスと水蒸気との混合ガス、メタノール若しくはエタノール等のアルコール類、ギ酸若しくは酢酸等のカルボン酸、フェノール類、又はこれらを含む混合ガス等が挙げられる。また、窒化処理を行なうためのガス種は、アンモニアに限られるものではなく、窒素ガス(N<sub>2</sub>)、一酸化二窒素ガス(N<sub>2</sub>O)、一酸化窒素ガス(NO)、二酸化窒素ガス(NO<sub>2</sub>)及びアンモニアガス(NH<sub>3</sub>)のうちの少なくとも1つを含むものが挙げられる。

【発明の効果】本発明に係る絶縁膜の形成方法によると、絶縁膜中に含まれるシリコン-水素結合のうちの一部のみが酸化されるため、露出部に、厚さが小さくて膜質に優れたシリコン-水酸基結合を含む改質層を、厚さの制御性に優れ、且つ露出部における膜厚の減少を招くことなく形成することができると共に、後に行なわれる酸素プラズマによるアッシング等の半導体プロセスに対する耐性を向上させることができる。本発明に係る絶縁膜の形成方法において、絶縁膜が水素化シルセスキオキサンよりなると、比誘電率の低い絶縁膜を実現することができる。本発明に係る絶縁膜の形成方法において、絶縁膜の表面部に対して水酸基の中性活性種を含むプラズマにより処理を行なった後に、絶縁膜の上にレジストパターンを形成すると、絶縁膜の表面部に全面に亘って改質層が形成されるので、レジストパターンの除去工程において、絶縁膜が劣化する事態を確実に防止することができる。本発明に係る絶縁膜の形成方法において、プラズマを、水蒸気を含む雰囲気中、水素ガスと酸素ガスとの混合ガスを含む雰囲気中、水素ガスと水蒸気との混合ガスを含む雰囲気中、又は気体状のアルコール類、カルボン酸類及びフェノール類のうちの少なくとも1つを含む雰囲気中において発生させると、プラズマは原子状

における配線溝304に露出している部分に第1の改質層306を形成する。尚、水蒸気プラズマ305の発生方法は第1の実施形態と同様である。次に、図6(d)に示すように、HSQ膜301及び第1の酸化珪素膜302の上に、コンタクトホール形成領域に開口部を有する第2のレジストパターン307を形成する。この場合、配線溝304の側壁部はレジスト膜に対する現像液に曝されるが、配線溝304の底部及び側壁部は第1の改質層306に覆われているので、HSQ膜301の膜質が劣化することはない。次に、図7(a)に示すように、第2のレジストパターン307をマスクとしてドライエッチングを行なって、HSQ膜301にコンタクトホール308を形成した後、水蒸気プラズマ309を用いて改質処理を行なって、コンタクトホール308の側壁に第2の改質層310を形成する。次に、図7(b)に示すように、酸素プラズマを用いて、第2のレジストパターン307に対してアッシングを行なって、第2のレジストパターン307を除去する。このアッシング工程において、HSQ膜301における配線溝304及びコンタクトホール308に露出している部分は酸素プラズマに曝されるが、第1の改質層306及び第2の改質層310が形成されているので、HSQ膜301には酸素プラズマによる膜質の劣化は起こらない。次に、図7

(c)に示すように、配線溝304及びコンタクトホール308の底面及び壁面に、窒化チタン膜とチタン膜との積層体からなるバリア層311を形成した後、バリア層311の上に配線溝304及びコンタクトホール308が埋め込まれるように銅膜312を堆積し、その後、銅膜312における配線溝304及びコンタクトホール308に露出している部分を例えばCMP法により除去すると、銅膜312からなるデュアルダマシ構造を有する埋め込み配線が得られる。

(第4の実施形態)以下、本発明の第4の実施形態について、図8及び図9を参照しながら説明する。まず、図8(a)に示すように、スピコートにより、シリコン基板400の上に全面に亘ってHSQ膜401を塗布した後、400℃の温度下の窒素雰囲気中において60分間のベークを行なってHSQ膜401を焼成する。その後、水蒸気プラズマ402を用いて改質処理を行なって、HSQ膜401の表面部に第1の改質層403を形成する。尚、水蒸気プラズマ402の発生方法は第1の実施形態と同様である。次に、図8(b)に示すように、第1の改質層403の上に、コンタクトホール形成領域に開口部を有する第1のレジストパターン404を形成する。次に、図8(c)に示すように、第1のレジストパターン404をマスクとしてドライエッチングを行なって、HSQ膜401にコンタクトホール405を形成する。次に、図8(d)に示すように、水蒸気プラズマ406を用いて改質処理を行なって、HSQ膜401におけるコンタクトホール405に露出している部分

に第2の改質層407を形成する。次に、図9(a)に示すように、第1の改質層403の上に、配線溝形成領域に開口部を有する第2のレジストパターン408を形成する。この場合、コンタクトホール405の側壁部はレジスト膜に対する現像液に曝されるが、コンタクトホール405の側壁部は第2の改質層407に覆われているので、HSQ膜401の膜質が劣化することはない。次に、図9(a)に示すように、第2のレジストパターン408をマスクとしてドライエッチングを行なって、HSQ膜401に配線溝409を形成した後、水蒸気プラズマ410を用いて改質処理を行なって、配線溝409の側壁に第3の改質層411を形成する。次に、図9(b)に示すように、酸素プラズマを用いて、第2のレジストパターン408に対してアッシングを行なって、第2のレジストパターン408を除去する。このアッシング工程において、HSQ膜401におけるコンタクトホール405及び配線溝409に露出している部分は酸素プラズマに曝されるが、第2の改質層407及び第3の改質層411が形成されているので、HSQ膜401には酸素プラズマによる膜質の劣化は起こらない。次に、図9(c)に示すように、コンタクトホール405及び配線溝409の底面及び壁面に、窒化チタン膜とチタン膜との積層体からなるバリア層412を形成した後、バリア層412の上にコンタクトホール405及び配線溝409が埋め込まれるように銅膜413を堆積し、その後、銅膜413におけるコンタクトホール405及び配線溝409に露出している部分を例えばCMP法により除去すると、銅膜413からなるデュアルダマシ構造を有する埋め込み配線が得られる。ところで、第1～第3の実施形態によると、プラズマCVD法により、HSQ膜の上にキャップ膜としての酸化珪素膜を形成したが、プラズマCVDにより堆積された酸化珪素膜の比誘電率は約4.3であって大きいため、配線間の実効的な容量が増大してしまうという問題がある。これに対して、第4の実施形態によると、HSQ膜401の表面部には、酸化珪素膜に代えて、厚さが小さく且つ比誘電率が低い第1の改質層403を形成したため、配線間の容量を低減することができる。つまり、プラズマCVD法により堆積された酸化珪素膜の比誘電率が約4.3程度であるのに対して、第1の改質層403の比誘電率は3.0～4.0程度である。

(第5の実施形態)以下、本発明の第5の実施形態について図10及び図11を参照しながら説明する。まず、図10(a)に示すように、スピコートにより、シリコン基板500の上に全面に亘ってHSQ膜501を塗布した後、400℃の温度下の窒素雰囲気中において60分間のベークを行なってHSQ膜501を焼成する。その後、プラズマCVD法により、HSQ膜501の上に酸化珪素膜502を堆積した後、該酸化珪素膜502の上に、コンタクトホール形成領域に開口部を有す

層の厚さは、酸素プラズマにより得られた改質層の厚さよりも小さい。このように、水蒸気プラズマによる改質処理は、酸素プラズマによる改質処理に比べて、改質層の厚さが薄いと共に厚さの制御性に優れている。また、水蒸気プラズマは、原子状態の水素が含まれている還元雰囲気であるため、HSQ膜に対する酸化力は非常に弱い。この非常に弱い酸化力は、水蒸気プラズマに含まれる水酸基の中性活性種によって引き起こされると考えられる。従って、水蒸気プラズマ処理により得られた改質層においては、HSQ膜中のSi-H結合のうちの一部分のみが水酸基の中性活性種により酸化されて、緻密な膜になると考えられる。ところで、酸素プラズマ処理により得られた改質層の厚さが大きい理由は、酸素プラズマでは、処理条件を変えても酸化力が強いので、HSQ膜が強く酸化されてしまうためであると考えられる。HSQ膜は強く酸化されると、HSQ膜中のSi-H結合の大部分が酸化されるため、HSQ膜の膜厚が大きく減少すると共に、Si-OH結合のほかH-OH結合が形成されるため、HSQ膜中の水分増大及び比誘電率の増加等の膜質劣化を招くのである。これに対して、HSQ膜中のSi-H結合は、水蒸気プラズマ中に含まれる、励起状態の $H_2O$ 、原子状態の水素(H)及び水酸(OH)遊離基等の活性種に対しては反応しないので、そのままの状態が保持されるためであると考えられる。従って、水蒸気プラズマを用いる改質処理によると、HSQ膜の表面のごく浅い部分のみを酸化により改質して緻密化できると共に、膜質劣化を殆ど招くことなく改質することができる。このようなHSQ膜の表面の緻密化によって、その後に行なわれる半導体プロセス(酸素アッシング、エッチング残渣を除去するための有機溶媒による洗浄、又はレジスト膜に対する現像等)に対する耐性を向上させることができる。

(第2の実施形態) 以下、本発明の第2の実施形態について、図5及び図6を参照しながら説明する。まず、図4(a)に示すように、スピナーにより、シリコン基板200の上に全面に亘ってHSQ膜201を塗布した後、400℃の温度下の窒素雰囲気中において60分間のベークを行なってHSQ膜201を焼成する。その後、プラズマCVD法により、HSQ膜201の上に第1の酸化珪素膜202を堆積した後、該第1の酸化珪素膜202の上に、コンタクトホール形成領域に開口部を有する第1のレジストパターン203を形成する。次に、図4(b)に示すように、第1のレジストパターン203をマスクとしてドライエッチングを行なって、HSQ膜201及び第1の酸化珪素膜202にコンタクトホール204を形成する。次に、図4(c)に示すように、水蒸気プラズマ205を用いて改質処理を行なって、HSQ膜201におけるコンタクトホール204に露出している部分に第1の改質層206を形成する。尚、水蒸気プラズマ205の発生方法は第1の実施形態

と同様である。次に、図4(d)に示すように、第1の酸化珪素膜202の上に、配線溝形成領域に開口部を有する第2のレジストパターン207を形成する。この場合、コンタクトホール204の側壁部はレジスト膜に対する現像液に曝されるが、コンタクトホール204の側壁部は第1の改質層206に覆われているので、HSQ膜201の膜質が劣化することはない。次に、図5

(a)に示すように、第2のレジストパターン207をマスクとしてドライエッチングを行なって、HSQ膜201に配線溝208を形成した後、水蒸気プラズマ209を用いて改質処理を行なって、配線溝208の側壁に第2の改質層210を形成する。次に、図5(b)に示すように、酸素プラズマを用いて、第2のレジストパターン207に対してアッシングを行なって、第2のレジストパターン207を除去する。このアッシング工程において、HSQ膜201におけるコンタクトホール204及び配線溝208に露出している部分は酸素プラズマに曝されるが、第1の改質層206及び第2の改質層210が形成されているので、HSQ膜201には酸素プラズマによる膜質の劣化は起こらない。次に、図5

(c)に示すように、コンタクトホール204及び配線溝208の底面及び壁面に、窒化チタン膜とチタン膜との積層体からなるバリア層211を形成した後、バリア層211の上にコンタクトホール204及び配線溝208が埋め込まれるように銅膜212を堆積し、その後、銅膜212におけるコンタクトホール204及び配線溝208に露出している部分を例えばCMP法により除去すると、銅膜212からなるデュアルダマシン構造を有する埋め込み配線が得られる。図13は、第2の実施形態により得られる配線構造の配線間のリーク電流の測定結果を示しており、配線間の距離は0.4μmである。図13から分かるように、水蒸気プラズマを用いる処理を行なった場合のリーク電流は、酸素プラズマを用いる処理を行なった場合のリーク電流に比べて2桁以上小さくなっていることが分かる。

(第3の実施形態) 以下、本発明の第3の実施形態について、図6及び図7を参照しながら説明する。まず、図6(a)に示すように、スピナーにより、シリコン基板300の上に全面に亘ってHSQ膜301を塗布した後、400℃の温度下の窒素雰囲気中において60分間のベークを行なってHSQ膜301を焼成する。その後、プラズマCVD法により、HSQ膜301の上に第1の酸化珪素膜302を堆積した後、該第1の酸化珪素膜302の上に、配線溝形成領域に開口部を有する第1のレジストパターン303を形成する。次に、図6

(b)に示すように、第1のレジストパターン303をマスクとしてドライエッチングを行なって、HSQ膜301及び第1の酸化珪素膜302に配線溝304を形成する。次に、図6(c)に示すように、水蒸気プラズマ305を用いて改質処理を行なって、HSQ膜301に



膜における開口部に露出している露出部に対して、水酸基の中性活性種を含むプラズマにより処理を行なって、露出部を緻密化させる改質処理工程とを備えている。本発明に係る絶縁膜の形成方法によると、絶縁膜中のシリコン-水素結合は、プラズマ中に含まれ、酸化力が弱い水酸基の中性活性種により酸化されるため、絶縁膜中に含まれるシリコン-水素結合のうちの一部のみが酸化される。このため、露出部には、膜厚が小さく且つ膜質に優れた、シリコン-水酸基結合を含む改質層が形成されると共に、露出部における膜厚の減少は少ない。本発明に係る絶縁膜の形成方法において、絶縁膜は、水素化シルセスキオキサンよりなることが好ましい。本発明に係る絶縁膜の形成方法において、レジストパターン形成工程は、絶縁膜の表面部に対して、水酸基の中性活性種を含むプラズマにより処理を行なって表面部を緻密化した後に、絶縁膜の上にレジストパターンを形成する工程を含むことが好ましい。本発明に係る絶縁膜の形成方法において、プラズマは、水蒸気を含む雰囲気中において発生させることが好ましい。本発明に係る絶縁膜の形成方法において、プラズマは、水素ガスと酸素ガスとの混合ガスを含む雰囲気中において発生させることが好ましい。本発明に係る絶縁膜の形成方法において、プラズマは、水素ガスと水蒸気との混合ガスを含む雰囲気中において発生させる工程を含むことが好ましい。本発明に係る絶縁膜の形成方法において、プラズマは、気体状のアルコール類、カルボン酸類及びフェノール類のうちの少なくとも1つを含む雰囲気中において発生させることが好ましい。本発明に係る絶縁膜の形成方法において、プラズマは、励起状態の窒素分子をさらに含んでいることが好ましい。この場合、プラズマは、水蒸気、水素ガスと酸素ガスとの混合ガス及び水素ガスと水蒸気との混合ガスのうちの少なくとも1つと、窒素ガス、一酸化二窒素ガス、一酸化窒素ガス、二酸化窒素ガス及びアンモニアガスのうちの少なくとも1つとを含む雰囲気中において発生させることが好ましい。本発明に係る絶縁膜の形成方法において、改質処理工程は、プラズマにより緻密化された露出部に対して窒素プラズマにより窒素処理を行なう工程を含むことが好ましい。この場合、窒素プラズマは、窒素ガス、一酸化二窒素ガス、一酸化窒素ガス、二酸化窒素ガス及びアンモニアガスのうちの少なくとも1つを含む雰囲気中において発生させることが好ましい。

【発明の実施の形態】（第1の実施形態）以下、本発明の第1の実施形態について、図1～図3を参照しながら説明する。まず、図1（a）に示すように、シリコン基板100上に形成された絶縁膜101の上に、アルミニウム又はアルミニウム合金等からなる第1の金属配線層102を形成した後、プラズマCVD法等により、第1の金属配線層102の上に全面に亘って第1の酸化珪素膜103を堆積する。尚、第1の酸化珪素膜103は、

第1の金属配線層102と該第1の金属配線層102の上に堆積されるHSQ膜との密着性の向上等の役割を担う。次に、図1（b）に示すように、スピンのコーターにより、第1の酸化珪素膜103の上にHSQ膜104を塗布した後、400℃の温度下の窒素雰囲気中において60分間のベークを行なってHSQ膜104を焼成する。次に、図1（c）に示すように、プラズマCVD法等により、HSQ膜104の上に全面に亘って第2の酸化珪素膜105を堆積して、第1の酸化珪素膜103、HSQ膜104及び第2の酸化珪素膜105からなる3層構造の層間絶縁膜を形成する。次に、図2（a）に示すように、周知のフォトリソグラフィ法により、第2の酸化珪素膜105の上に、コンタクトホール形成領域に開口部を有するレジストパターン106を形成する。次に、図2（b）に示すように、レジストパターン106をマスクとしてドライエッチングを行なって、第1の酸化珪素膜103、HSQ膜104及び第2の酸化珪素膜105にコンタクトホール107を形成する。次に、図2（c）に示すように、水蒸気（H<sub>2</sub>O）プラズマ108を用いて改質処理を行なって、HSQ膜104におけるコンタクトホール107に露出している部分に改質層109を形成する。この工程において、HSQ膜104は改質されるが、第1の酸化珪素膜103及び第2の酸化珪素膜105は水蒸気プラズマの影響を受けないので変質しない。以下、水蒸気プラズマ108の発生方法について説明する。例えば反応性プラズマエッチング装置のチャンパー内に水蒸気（H<sub>2</sub>O）を100～500 sccmの流量で導入した後、チャンパー内の圧力を10 mTorr～2 Torrに保持し、この状態でチャンパー内の電極に2.45 GHzの周波数を持つマイクロ波を導入して水蒸気プラズマを発生させる。この場合、マイクロ波のパワーは0.5～1.0 kWとし、シリコン基板100は100～300℃程度に加熱しておく。次に、図3（a）に示すように、酸素プラズマ110を用いて、レジストパターン106に対してアッシングを行なって、レジストパターン106を除去する。このアッシング工程において、改質層109は酸素プラズマ110に曝されるが、改質層109の膜質は殆ど影響を受けないので、HSQ膜104の膜質は変化しない。次に、図3（b）に示すように、コンタクトホール107にタングステン等からなるプラグ111を形成した後、第2の酸化珪素膜105の上に第2の金属配線層112を形成すると、2層の配線構造が得られる。図12（a）は、酸素ガスを主成分とする酸素雰囲気中において発生させた酸素プラズマを用いてHSQ膜を改質した場合のコンタクトホール断面の走査型電子顕微鏡（SEM）写真の模写図であり、図12（b）は水蒸気プラズマを用いてHSQ膜を改質した場合の走査型電子顕微鏡写真の模写図である。図12（a）と図12（b）との対比から明らかなように、水蒸気プラズマにより得られた改質

配線層 12 の上に全面に亘って第 1 の酸化珪素膜 13 を堆積する。尚、第 1 の酸化珪素膜 13 は、第 1 の金属配線層 12 と該第 1 の金属配線層 12 の上に堆積される H S Q 膜との密着性の向上等の役割を担う。次に、図 14 (b) に示すように、スピナーにより、第 1 の酸化珪素膜 13 の上に H S Q 膜 14 を塗布した後、400℃の温度下の窒素雰囲気中において 60 分間のベークを行なって H S Q 膜 14 を焼成する。次に、図 14 (c) に示すように、プラズマ CVD 法等により、H S Q 膜 14 の上に全面に亘って第 2 の酸化珪素膜 15 を堆積して、第 1 の酸化珪素膜 13、H S Q 膜 14 及び第 2 の酸化珪素膜 15 からなる 3 層構造の層間絶縁膜を形成する。次に、図 14 (d) に示すように、周知のフォトリソグラフィ法により、第 2 の酸化珪素膜 15 の上に、コンタクトホール形成領域に開口部を有するレジストパターン 16 を形成する。次に、図 15 (a) に示すように、レジストパターン 16 をマスクとしてドライエッチングを行なって、第 1 の酸化珪素膜 13、H S Q 膜 14 及び第 2 の酸化珪素膜 15 にコンタクトホール 17 を形成する。次に、図 15 (b) に示すように、酸素プラズマ 19 を用いて、レジストパターン 16 に対してアッシングを行なって、レジストパターン 16 を除去する。このアッシング工程において、3 層構造の層間絶縁膜は酸素プラズマ 19 に曝される。プラズマ CVD 法により堆積された第 1 の酸化珪素膜 13 及び第 2 の酸化珪素膜 15 は酸素プラズマ 19 に対する耐性を持つため影響を受けないが、H S Q 膜 14 は酸素プラズマ 19 に対する耐性が低いので、図 15 (c) に示すように、H S Q 膜 14 におけるコンタクトホール 17 に露出している部分においては、膜の酸化により膜中成分が分解して膜の表面が後退すると共に、膜質が劣化して変質層 20 が形成される。次に、図 15 (d) に示すように、コンタクトホール 17 にタングステン等からなるプラグ 21 を形成したり、第 2 の酸化珪素膜 15 の上に第 2 の金属配線層 22 を堆積したりする工程において、変質層 20 から水分が放出されるため、プラグ 21 及び第 2 の金属配線層 22 に形成不良が発生するので、断線及び高抵抗化の原因になる。酸素プラズマによって H S Q 膜が変質して、含有水分量が増大することは、Ahlburn らの論文 (B. T. Ahlburn, G. A. Brown, T. R. Seha, T. F. Zoes, "Hydrogen Silsesquioxane-based Flowable Oxide As An Element In The Interlevel Dielectric For Sub 0.5 Micron ULSI Circuits", 1995 Proceedings Dielectrics for VLSI/ULSI Multilevel Interconnection Conference P.36) 等において報告されている。Ahlburn らによれば、酸素プラズマによって H S Q 膜中の Si-H 結合が酸化されて、Si-OH 結合及び H-OH 結合が生成され、OH 基が膜中水分となると共に、酸化によって H S Q 膜が収縮して、膜後退の原因となる。また、H S Q 膜 14 の上に第 2 の酸化珪素膜 15 を堆積しない場合には、配線間

容量のフリンジ成分を低減できるため、より低容量化を図ることはできるが、この場合には、H S Q 膜 14 上に堆積したレジスト膜を露光した後に現像してレジストパターン 16 を形成する工程において、現像液 (アルカリ性溶液; テトラメチルアンモニウム水酸化物溶液等) の影響により、H S Q 膜 14 にクラックが発生したり又は不要なエッチング部分が発生したりするので、H S Q 膜 14 がダメージを受けてしまうという問題も起きる。ところで、特開平 1-319942 号公報においては、酸素ガスを主成分とする酸素雰囲気中において反応性プラズマエッチング処理を行なって、シリコン樹脂を含む絶縁膜を改質させることにより、半導体プロセスに耐える絶縁膜を形成する方法も提案されている。しかしながら、酸素ガスを主成分とする酸素雰囲気中において反応性プラズマエッチング処理を行なって、シリコン樹脂を含む絶縁膜を改質させる方法では、絶縁膜、特に H S Q 膜のような無機質の絶縁膜においては、膜の変質及び劣化が大きいと共に改質層の厚さの制御が困難であるという問題がある。膜の変質及び劣化の程度が大きい場合並びに改質層の厚さが大きい場合には、配線間容量の増加及び配線間リーク電流の増大を招くという問題が発生し、この問題は埋め込み配線の場合に特に顕著に現われる。従って、酸素ガスを主成分とする酸素雰囲気中において反応性プラズマエッチング処理を行なって絶縁膜を改質させる方法は、採用が困難である。また、レジストパターンを酸素プラズマによりアッシングして除去する際に、H S Q 膜の変質を回避するために、下層の金属配線の上には H S Q 膜が残存しないように H S Q 膜をエッチバックして、H S Q 膜を、下層の金属配線の上に形成されるコンタクトホールに露出させない方法も提案されている。ところが、この方法は、H S Q 膜をエッチバックする工程の制御が難しいこと、工程数の増加を招くこと、及び、H S Q 膜を形成する際に配線間容量のフリンジ成分の低減ができないため容量を十分に低減できないこと等の問題があるので、採用は困難である。前記に鑑み、本発明は、シリコン-水素結合を有する絶縁膜の上に形成されたレジストパターンを酸素プラズマにより除去するときに H S Q 膜の露出部が変質することを防止する改質層を、厚さが小さく、膜質の劣化を招くことなく且つ厚さの制御性良く形成できる方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】前記の目的を達成するため、本発明は、シリコン-水素結合を有する絶縁膜における露出部を、水酸基の中性活性種を含むプラズマにより処理することによって改質層を形成するものである。具体的には、本発明に係る絶縁膜の形成方法は、シリコン-水素結合を有する絶縁膜の上にレジストパターンを形成するレジストパターン形成工程と、絶縁膜に対してレジストパターンをマスクとしてエッチングを行なって、絶縁膜に開口部を形成する開口部形成工程と、絶縁

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 シリコン-水素結合を有する絶縁膜の上にレジストパターンを形成するレジストパターン形成工程と、前記絶縁膜に対して前記レジストパターンをマスクとしてエッチングを行なって、前記絶縁膜に開口部を形成する開口部形成工程と、前記絶縁膜における前記開口部に露出している露出部に対して、水酸基の中性活性種を含むプラズマにより処理を行なって、前記露出部を緻密化させる改質処理工程とを備えていることを特徴とする絶縁膜の形成方法。

【請求項 2】 前記絶縁膜は、水素化シルセスキオキサンよりなることを特徴とする請求項 1 に記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項 3】 前記レジストパターン形成工程は、前記絶縁膜の表面部に対して、水酸基の中性活性種を含むプラズマにより処理を行なって前記表面部を緻密化した後に、前記絶縁膜の上に前記レジストパターンを形成する工程を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項 4】 前記プラズマは、水蒸気を含む雰囲気中において発生させることを特徴とする請求項 1 に記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項 5】 前記プラズマは、水素ガスと酸素ガスとの混合ガスを含む雰囲気中において発生させることを特徴とする請求項 1 に記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項 6】 前記プラズマは、水素ガスと水蒸気との混合ガスを含む雰囲気中において発生させる工程を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項 7】 前記プラズマは、気体状のアルコール類、カルボン酸類及びフェノール類のうちの少なくとも 1 つを含む雰囲気中において発生させることを特徴とする請求項 1 に記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項 8】 前記プラズマは、励起状態の窒素分子をさらに含んでいることを特徴とする請求項 1 に記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項 9】 前記プラズマは、水蒸気、水素ガスと酸素ガスとの混合ガス及び水素ガスと水蒸気との混合ガスのうちの少なくとも 1 つと、窒素ガス、一酸化二窒素ガス、一酸化窒素ガス、二酸化窒素ガス及びアンモニアガスのうちの少なくとも 1 つとを含む雰囲気中において発生させることを特徴とする請求項 8 に記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項 10】 前記改質処理工程は、前記プラズマにより緻密化された前記露出部に対して窒素プラズマにより窒素処理を行なう工程を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項 11】 前記窒素プラズマは、窒素ガス、一酸化二窒素ガス、一酸化窒素ガス、二酸化窒素ガス及びアンモニアガスのうちの少なくとも 1 つを含む雰囲気中に

おいて発生させることを特徴とする請求項 10 に記載の絶縁膜の形成方法。

【発明の詳細な説明】

【発明が属する技術分野】 本発明は、絶縁膜、特に下層の金属配線層と上層の金属配線層との間の層間絶縁膜の形成方法に関するものである。

【従来の技術】 L S I 等の半導体装置の高集積化に伴って、配線構造の多層化及び高密度化が進んでいる。配線構造の高密度化による配線間容量の増大は、遅延時間の増大、高消費電力化及びクロストーク等の原因となり、半導体デバイスの動作性能に悪影響を与える。そこで、配線間容量を低減するために、低誘電率の絶縁膜材料が必要とされている。これに対して、現在、用いられている典型的な絶縁膜材料としては、熱酸化法又は C V D 法（化学気相成長法）により形成されたシリコン酸化膜が挙げられ、該シリコン酸化膜の比誘電率は 3.9 ～ 5.0 程度である。配線間容量の低減のためには、比誘電率がより小さい絶縁膜が必要である。低誘電率の絶縁膜の形成方法として、C V D 法又はスピニング法（S O G 法）が広く用いられている。そこで、近年、比誘電率が 3.0 程度である低誘電率の絶縁膜材料として、水素化シルセスキオキサン（H S Q ; Hydrogen Silsesquioxane、以下、単に H S Q と称する。）が注目されており、この材料に関するプロセスが開発されている。H S Q については、バランスらの論文（1992 VMIC Conference）や、プラマニクらの論文（1993 VMIC Conference）に詳述されている。H S Q は、立方体のポリマー構造を有し、その一般式は  $(H S i O_{1.5})_2n$ （但し、 $n = 2 \sim 8$ ）で表わされる。H S Q 膜は S O G 法により形成することができる。すなわち、スピニングコートにより基板上に H S Q 膜を塗布した後、該 H S Q 膜を 400℃程度の温度下における窒素雰囲気中で焼成すると、ポリマー同士が結合して薄膜が形成されるのである。

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、H S Q 膜を、金属配線層に隣接する平坦な層間絶縁膜又は低誘電率絶縁膜として用いる場合には、次のような問題がある。すなわち、H S Q 膜をフォトリソグラフィ法により微細加工する工程においてレジストパターンを酸素プラズマによりアッシング（灰化）して除去する際に、H S Q 膜における露出している部分が変質して H S Q 膜に含まれる水分の量が増大するため、その後の半導体プロセスにおいて、H S Q 膜に含まれる水分が放出され、金属配線の不良原因となるという問題がある。以下、H S Q 膜を有する従来の多層配線構造の形成方法及びその問題点について、図 14 及び図 15 を参照しながら説明する。尚、説明の簡単のために、ここでは、2 層配線構造を示す。まず、図 14（a）に示すように、シリコン基板 10 上に形成された絶縁膜 11 の上に、アルミニウム又はアルミニウム合金等からなる第 1 の金属配線層 12 を形成した後、プラズマ C V D 法等により、第 1 の金属